

УДК 612.111

*ИРЖАК Лев Исакович, доктор биологических наук, профессор, руководитель научно-образовательного центра «Проблемы гипоксии» Сыктывкарского государственного университета имени Питирима Сорокина. Автор более 200 научных публикаций, в т. ч. 8 монографий*

### **ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИНТЕРВАЛОВ РР, РТ И СЕГМЕНТА ТР ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ ЧЕЛОВЕКА: ДЕЙСТВИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОБ**

В статье обсуждается функциональное значение временных параметров variability элементов ЭКГ человека при ускорении и замедлении сердечного ритма под влиянием тестов в лабораторных экспериментах. Представлены средние значения ( $M \pm SD$ , с) и кардиоинтервалограммы длительностей элементов ЭКГ четырех испытуемых обоего пола в возрасте 18–23 лет до и после функциональных проб. На уровне фона индивидуальные интервалы РР испытуемых были от  $0,73 \pm 0,06$  до  $0,90 \pm 0,09$  с, интервалы РТ – от  $0,44 \pm 0,02$  до  $0,56 \pm 0,02$  с, сегмент ТР – между  $0,17 \pm 0,05$  и  $0,40 \pm 0,07$  с. Интервалы РТ составляли 56–77 % длительности РР, доля ТР – 23–44 % соответственно. В опытах с ускорением сердечного ритма нормобарическая гипоксия (9 %  $O_2$ ) через 5 мин и физическая нагрузка (100 Вт) через 1 мин сократили интервалы РР против фона на 12 и 24 %, сегмент ТР – на 32 и 80 % соответственно. Интервал РТ – практически без изменений (в пределах ошибки метода). В этих условиях интервалы РТ составляли 70–90 % длительности РР, доля ТР – 8–30 %. При максимальной физической нагрузке доля ТР снижалась до нуля. В опытах с замедлением сердечного ритма ортоклиностагическая проба через 1 мин и произвольная остановка внешнего дыхания (на вдохе) через 0,75 мин увеличили РР на 1/3, ТР – в 1,5 и 2,3 раза соответственно. Интервал РТ – практически без изменений. Доля РТ в общей длительности интервала РР уменьшена до 48–59 %, ТР увеличена в среднем до 50 %. На индивидуальных кардиоинтервалограммах показано почти полное совпадение variability РР и ТР при минимальной variability РТ.

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, интервалы, сегмент, функциональные пробы.

Волновая структура сердечного ритма (ВСР) как проявление хронотропных свойств миокарда оказалась в центре внимания исследователей физиологии человека полстолетия тому назад. В ряде работ с применением ЭКГ были

рассмотрены связи между длительностями элементов РР, PQ и QT [1–4]. Было установлено, что временные соотношения между структурно-функциональными элементами ЭКГ зависят от частоты сокращений сердца (ЧСС) [1, 3]

и что эта зависимость наиболее отчетливо проявляется в длительности сегмента TP – электрической диастолы, когда сердечная мышца находится в изоэлектрическом состоянии [2, 5]. В последние годы на волне публикаций о ВСР внимание исследователей сосредоточено главным образом на анализе интервалов RR. Действительно, «О ВСР традиционно судят по длительности RR-интервалов ЭКГ, хотя более правильным будет рассматривание длительности PP-интервалов, т. к. именно начало зубца P как раз и является началом нового сердечного цикла, связанного с возбуждением синусового узла» [6]. Сведения о вариабельности других элементов ЭКГ содержатся только в единичных работах [5, 7, 8], несмотря на то, что актуальность данных такого рода очевидна [4, 8, 9]. Нужны измерения длительностей элементов ЭКГ человека в относительно спокойном состоянии и в ответ на функциональные пробы, которые в лабораторном эксперименте способствуют, по имеющимся данным, увеличению или уменьшению ЧСС. Поиск в этом направлении составил цель настоящей работы.

**Материалы и методы.** В соответствии с целью исследования обработаны электрокардиограммы четырех испытуемых (табл. 1), участвовавших ранее в групповых экспериментах, результаты которых с изложением методик применения известных функциональных проб (ФП) опубликованы [10–12].

Маркировка ЭКГ проведена с помощью линейки (цена деления 1 мм соответствует 0,02 с).

Учитывали по 100 кардиоциклов до и после ФП. Результаты измерений представлены в виде средней (M), ошибки средней (m) и стандартного отклонения (SD), достоверность различий оценивали по t-критерию, считая их существенными при  $p = 0,001$ . Индивидуальные кардиоинтервалограммы (КИГ) длительностей элементов ЭКГ приведены на графиках. С учетом нормального распределения кардиоциклов рассчитаны корреляции по Пирсону ( $r_p$ ) между PP и PT, между PP и TP. Общее число обработанных записей ЭКГ – около 800.

**Результаты и обсуждение.** *Фон.* Средние значения ( $M \pm SD$ ) длительностей интервалов PP испытуемых различаются на 1/3 (табл. 2). Более сближены показатели интервалов PT, разница составляет около 14 %. В то же время длительности сегмента TP варьируются в более широких пределах – от 0,17 до 0,40 с. В условиях фона длительности PP на 56–77 % представлены интервалом PT – предсердно-желудочковым комплексом и на 23–44 % – изопотенциальным сегментом TP.

*Опыт.* Под действием нормобарической гипоксии и физической нагрузки ЧСС у испытуемых растет, длительности PP сокращаются против фона на 12 и 24 %, интервал PT остался практически на уровне фона. Наибольший эффект выявлен относительно сегмента TP, который, судя по средним цифрам, значительно сокращен против фона. Относительная длительность TP снижается с 36 до 30 % PP в эксперименте с гипоксией

Таблица 1

СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПЫТУЕМЫХ И ПРИМЕНЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОБ

Испытуемые	Пол	Возраст, годы	Функциональная проба		ЧСС, уд/мин	
			Вид	Длительность действия, мин	До ФП	После ФП
Э	м	23	Гипоксия (9 % O <sub>2</sub> )	5	87	98
Л	ж	18	Физическая нагрузка 100 Вт (ФН <sub>100</sub> )	1	88	115
Ч	м	20	Ортоклиностагическая проба (ОКП)	1	66	50
Ю	ж	18	Задержка дыхания (ПОВД) на вдохе	0,75	82	64

Таблица 2

## ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКГ (С)

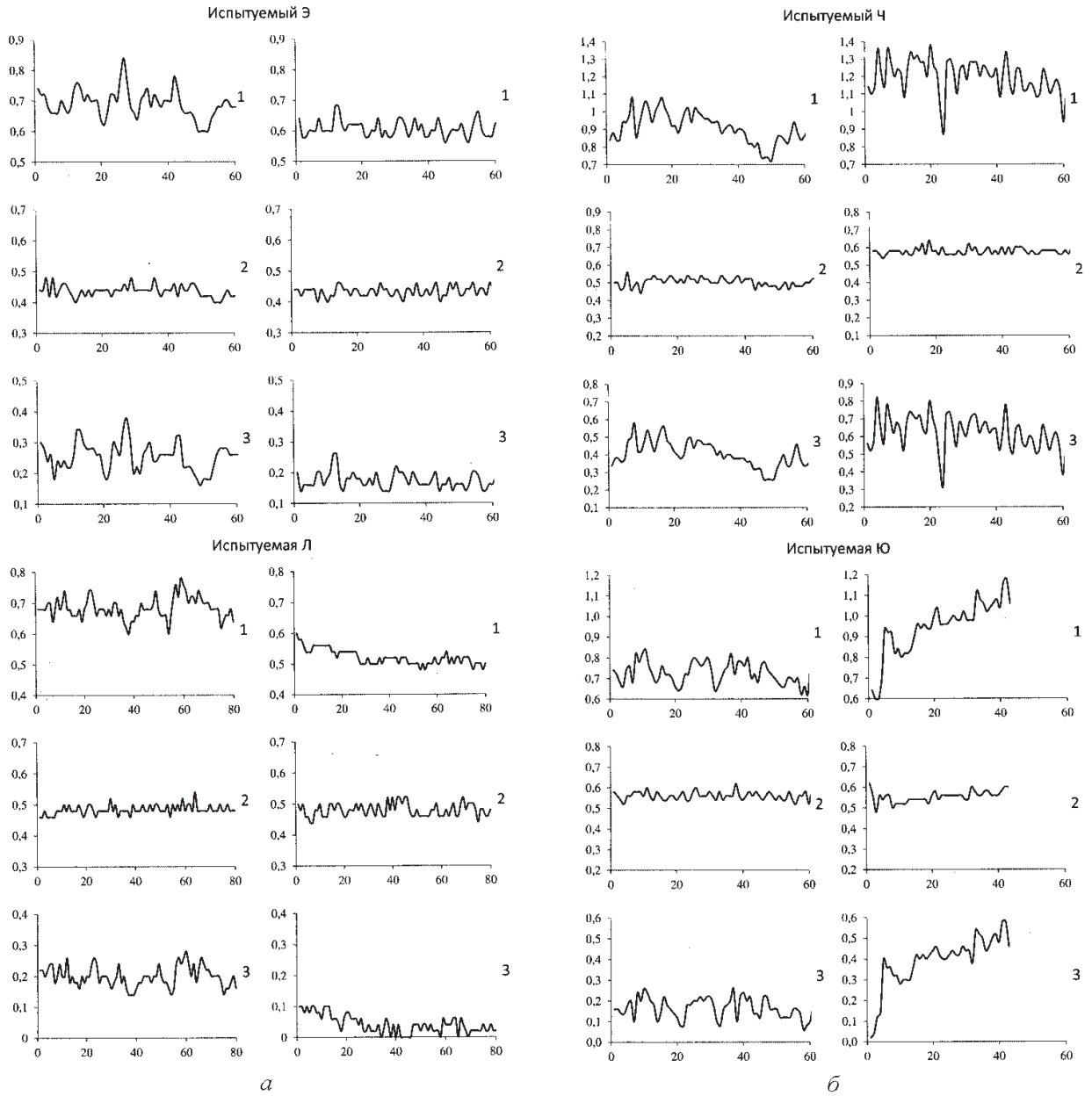
Показатель	Фон			Показатель	Опыт		
	РР	РТ	ТР		РР	РТ	ТР
<b>Испытуемый Э</b>							
М	0,69	0,44	0,25	М	0,61*	0,43	0,17*
SD	0,05	0,02	0,05	SD	0,03	0,02	0,03
m	0,01	0,00	0,01	m	0,00	0,00	0,00
min	0,60	0,40	0,16	min	0,56	0,40	0,14
max	0,84	0,48	0,38	max	0,68	0,46	0,26
Счет	62	62	62	Счет	62	62	62
<b>Испытуемая Л</b>							
М	0,68	0,48	0,20	М	0,52*	0,48	0,04*
SD	0,03	0,01	0,03	SD	0,03	0,02	0,03
m	0,00	0,00	0,00	m	0,00	0,00	0,00
min	0,60	0,46	0,14	min	0,48	0,44	0,00
max	0,78	0,54	0,28	max	0,60	0,52	0,10
Счет	80	80	80	Счет	80	80	80
<b>Испытуемый Ч</b>							
М	0,90	0,50	0,40	М	1,20*	0,58	0,62*
SD	0,09	0,02	0,07	SD	0,10	0,02	0,10
m	0,01	0,00	0,01	m	0,01	0,00	0,01
min	0,72	0,44	0,26	min	0,88	0,54	0,32
max	1,08	0,56	0,58	max	1,38	0,64	0,82
Счет	63	63	63	Счет	63	63	63
<b>Испытуемая Ю</b>							
М	0,73	0,56	0,17	М	0,94*	0,55	0,39*
SD	0,06	0,02	0,05	SD	0,13	0,03	0,12
m	0,01	0,00	0,01	m	0,02	0,00	0,02
min	0,62	0,52	0,06	min	0,60	0,48	0,02
max	0,86	0,62	0,26	max	1,18	0,62	0,58
Счет	93	93	93	Счет	43	43	43

Примечание: \* – различия статистически значимы ( $p = 0,001$ ).

и с 30 до 8 % под действием физической нагрузки. Под действием ортоклиностагической пробы и произвольной остановки внешнего дыхания ЧСС у испытуемых снижается, длительности РР достоверно (на 1/3) увеличиваются. Практически без изменений остаются РТ, тогда как время сегмента ТР растет наполовину в ответ на действие ОКП и более чем вдвое при ПОВД. Результатом этих изменений, когда сердечный ритм замедлен, доля РТ в общей длительности интервала РР

снижена с 56 до 48 % при ОКП и с 77 до 59 % при ПОВД, доля ТР увеличена, особенно под действием ПОВД, до 42 против 23 % РР до применения физической нагрузки.

Сравнительный анализ длительностей элементов ЭКГ представлен далее на индивидуальных КИГ (рис. а, б). Как видно, наибольший разброс интервалов в условиях фона характерен для РР и ТР, причем их динамика почти полностью совпадает. Наименее вариабелен интервал РТ. Под влиянием гипоксии и ФН,



Индивидуальные интервалограммы четырех испытуемых в контроле (фон) и под действием ФП (опыт): 1 – РР, 2 – РТ, 3 – ТР (в левом ряду представлены результаты до ФП (фон); в правом ряду – после ФП (опыт); по вертикали – длительности, с; по горизонтали – номера кардиоциклов)

т. е. при учащении сердечного ритма, вариабельности РР и ТР снижены. До нулевых значений снижаются в некоторых кардиоциклах (например, № 38–40 на *рис. а*) длительности ТР

в ответ на большую ФН. В опытах с замедлением сердечного ритма под влиянием ортоклино-статической пробы и ПОВД вариабельность РР и ТР растет, РТ остается на уровне фона

(рис. б). Визуальную оценку КИГ дополняют определения уровня функциональных связей ( $r_p$ ):

Испытуемые	РР/РТ		РР/ТР	
	фон	опыт	фон	опыт
Э	0,16	0,36	0,91	0,85
Л	0,34	0,17	0,90	0,73
Ч	0,59	0,19	0,96	0,98
Ю	0,45	0,44	0,92	0,98

Между РР и ТР корреляции близки к единице, тогда как между РР и РТ в 2-5 раз меньше как в условиях фона, так и после ФП разного типа.

**Заключение.** При ускорении и замедлении сердечного ритма у человека в условиях лабораторного эксперимента с применением функциональных проб длительности элементов ЭКГ характеризуются рядом особенностей.

Наиболее общий эффект в динамике длительностей элементов ЭКГ до и после ФП заключается в сходстве вариабельности РР и ТР. Поскольку вариабельность РТ – предсердно-

желудочкового комплекса – минимальна, то очевидно, что обычный способ исследования ВСП по RR – это, по существу, анализ вариабельности электрической диастолы (ТР). Об этом свидетельствуют, в частности, показанные в данной работе функциональные связи между РР и ТР в условиях фона и нагрузок.

Известный результат уменьшения ВСП в ответ на максимальные ФН [6, 11, 13, 14] может быть обусловлен тем, что при снижении ТР до минимума на первый план в определении длины кардиоцикла выходит интервал РТ.

Приведенные результаты способствуют разработке представлений о функциональном значении зависимости от ЧСС временных соотношений между элементами ЭКГ.

Роль отношений между длительностями элементов ЭКГ в организации сердечного ритма остается во многом неясной, хотя проблема представляет несомненный интерес для фундаментальной физиологии и диагностическую ценность для клиники.

## Список литературы

1. Бутченко Л.А., Ведерников В.В., Светличная В.С. О генезе синусовой брадикардии // Теория и практика физ. культуры. 1986. № 8. С. 46–47.
2. Дембо А.Г., Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. М., 1989. 461 с.
3. Куколевский Г.М., Граевская Н.Д. Основы спортивной медицины. М., 1971. 368 с.
4. Хантин В.М., Лукошкова Е.В. Спектральный анализ колебаний частоты сердцебиений: физиологические основы и осложняющие его явления // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 1999. Т. 85, № 7. С. 893–908.
5. Сорокин О.В., Ефименко В.Г., Титенко А.В. Особенности дисперсии RR, QT и TQ-периодов у подростков при проведении ортостатической пробы // Медицина и образование в Сибири. 2012. № 4.
6. Иванов Г.Г. Структура вариабельности сердечного ритма при анализе РР- и РТ-интервалов у больных с различными формами ИБС // Мир биологии и медицины. Новые методы электрокардиографии / отв. ред. С.В. Грачев, Г.Г. Иванов, А.Л. Сыркин. М., 2007. С. 518–549.
7. Кмить Г.В. Краткосрочная адаптация сократительной функции миокарда к физической нагрузке у детей 8 лет // Нов. исследования. 2008. Т. 1, № 17. С. 58–63.
8. Fossa A.A. The Impact of Varying Autonomic States on the Dynamic Beat-to-Beat QT-RR and QT-TQ Interval Relationships // Br. J. Pharmacol. 2008. Vol. 154, № 7. P. 1508–1515.
9. Панкова Н.Г. Функциональные пробы для оценки состояния здоровых людей по вариабельности сердечного ритма // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2013. Т. 99, № 6. С. 682–696.
10. Дудникова Е.А., Иржак Л.И. Показатели кардиогемодинамики и энергетического обмена студентов северного вуза весной // Экология человека. 2009. № 7. С. 61–64.
11. Иржак Л.И., Бойко Е.Р. Спектральные показатели вариабельности сердечного ритма у человека в условиях острой нормобарической гипоксии // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2015. Т. 101, № 1. С. 108–113.
12. Иржак Л.И., Дерновой Б.Ф. Изменения кардиогемодинамики человека при постуральных пробах // Изв. Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 1 (Вып. 21). С. 44–47.

13. Дерновой Б.Ф., Сатосова Н.Л. Кардиогемодинамика при вызванных изменениях гемоциркуляции в организме человека // В мире науч. открытий. 2014. № 2(50). С. 97–103.

14. Mourot L., Bouhaddi M., Perrey S. Decrease in Heart Rate Variability with Overtraining: Assessment by the Poincaré Plot Analysis // Clin. Physiol. Funct. Imaging. 2004. Vol. 24, № 1. P. 10–18.

### References

1. Butchenko L.A., Vedernikov V.V., Svetlichnaya V.S. O geneze sinusovoy bradikardii [On the Genesis of Sinus Bradycardia]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 1986, no. 8, pp. 46–47.

2. Dembo A.G., Zemtsovskiy E.V. *Sportivnaya kardiologiya* [Sports Cardiology]. Moscow, 1989. 461 p.

3. Kukolevskiy G.M., Graevskaya N.D. *Osnovy sportivnoy meditsiny* [Fundamentals of Sports Medicine]. Moscow, 1971. 368 p.

4. Khayutin V.M., Lukoshkova E.V. Spektral'nyy analiz kolebaniy chastoty serdtsebiteniy: fiziologicheskie osnovy i oslozhnyayushchie ego yavleniya [Spectral Analysis of Heart Rate Fluctuations: Its Physiological Basis and Phenomena Complicating It]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*, 1999, vol. 85, no. 7, pp. 893–908.

5. Sorokin O.V., Efimenko V.G., Titenko A.V. Osobennosti dispersii RR, QT i TQ-periodov u podrostkov pri provedenii ortostaticheskoy proby [Features of Dispersion of RR, QT and TQ Periods in Teenagers at Orthostatic Test]. *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*, 2012, no. 4.

6. Ivanov G.G. Struktura variabel'nosti serdechnogo ritma pri analize PP- i PR-intervalov u bol'nykh s razlichnymi formami IBS [The Structure of Heart Rate Variability in the Analysis of PP- and PR-intervals in Patients with Different Forms of Coronary Artery Disease]. *Mir biologii i meditsiny. Novye metody elektrokardiografii* [The World of Biology and Medicine. New Methods of Electrocardiography]. Moscow, 2007, pp. 518–549.

7. Kmit' G.V. Kratkosrochnaya adaptatsiya sokratitel'noy funktsii miokarda k fizicheskoy nagruzke u detey 8 let [Reaction of Myocardial Contractile Function to Physical Exercise in 5-Year-Old Children]. *Novye issledovaniya*, 2008, vol. 1, no. 17, pp. 58–63.

8. Fossa A.A. The Impact of Varying Autonomic States on the Dynamic Beat-to-Beat QT-RR and QT-TQ Interval Relationships. *Br. J. Pharmacol.*, 2008, vol. 154, no. 7, pp. 1508–1515.

9. Pankova N.G. Funktsional'nye proby dlya otsenki sostoyaniya zdorovykh lyudey po variabel'nosti serdechnogo ritma [Functional Tests for the Assessment of the Healthy People State Using Heart Rate Variability]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2013, vol. 99, no. 6, pp. 682–696.

10. Dudnikova E.A., Irzhak L.I. Pokazateli kardiogemodinamiki i energeticheskogo obmena studentok severnogo VUZa vesnoy [Indices of Cardiac Circulatory Dynamics and Energetic Metabolism in Female Students of Northern University in Spring]. *Ekologiya cheloveka*, 2009, no. 7, pp. 61–64.

11. Irzhak L.I., Boyko E.R. Spektral'nye pokazateli variabel'nosti serdechnogo ritma u cheloveka v usloviyakh ostroy normobaricheskoy gipoksii [Spectral Parameters of Heart Rate Variability in Man Under the Acute Normobaric Hypoxia Conditions]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2015, vol. 101, no. 1, pp. 108–113.

12. Irzhak L.I., Dernovoy B.F. Izmeneniya kardiogemodinamiki cheloveka pri postural'nykh probakh [Changes in the Human Cardiohemodynamics Under the Influence of Postural Tests]. *Izvestiya Komi NTs UrO RAN*, 2015, no. 1 (iss. 21), pp. 44–47.

13. Dernovoy B.F., Satosova N.L. Kardiogemodinamika pri vyzvannykh izmene-niyakh gemotsirkulyatsii v organizme cheloveka [Cardiohemodynamics When Caused by Changes in Blood Circulation in the Human Body]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2014, no. 2 (50), pp. 97–103.

14. Mourot L., Bouhaddi M., Perrey S. Decrease in Heart Rate Variability with Overtraining: Assessment by the Poincaré Plot Analysis. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 2004, vol. 24, no. 1, pp. 10–18.

*Irzhak Lev Isakovich*

Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin (Syktyvkar, Russia)

**DURATION OF PP AND PT INTERVALS AND TP SEGMENT  
IN HUMAN ELECTROCARDIOGRAM: THE EFFECT OF FUNCTIONAL TESTS**

The paper dwells on the functional significance of time parameters of human ECG elements variability when accelerating and decelerating the heart rate using laboratory tests. It presents the mean values ( $M \pm SD$ , s) and cardiointervalograms showing the duration of ECG elements in four subjects of both sexes aged 18–23 years before and after the functional tests. Initially, PP intervals of the subjects ranged between  $0.73 \pm 0.06$  and  $0.90 \pm 0.09$  s, PT intervals – between  $0.44 \pm 0.02$  and  $0.56 \pm 0.02$  s, and TP segment – between  $0.17 \pm 0.05$  and  $0.40 \pm 0.07$  s. PT intervals accounted for 56–77 % and TP segments for 23–44 % of the entire PP duration. In experiments with heart rate acceleration, after 5 min of normobaric hypoxia (9 % O<sub>2</sub>) and 1 min exercise (100 W) PP intervals were reduced by 12 and 24 % and TP segment by 32 and 80 % respectively compared to the initial values. PT interval stayed virtually unchanged (within the limits of error). Under these conditions, PT intervals accounted for 70–90 % and TP segments – for 8–30 % of PP duration. At exercise peak, the share of TP was reduced to zero. In experiments with heart rate deceleration, after 1 min of orthoclinostatic test and 0.75 min of voluntary breath holding (inspiratory apnea) PP was increased by 1/3 and TP – by the factor of 1.5 and 2.3 respectively. PT interval stayed on the initial level. The share of PT in the total duration of PP interval was reduced to 48–59 %, while TP on the average reached up to 50 %. The cardiointervalograms showed that PP interval and TP segment were almost identical in variability, while PT variability was at the minimum level.

**Keywords:** *electrocardiogram, intervals, segment, functional tests.*

*Контактная информация:*

*адрес:* 167001, г. Сыктывкар, просп. Октябрьский, д. 55;  
*e-mail:* labgip@syktsu.ru; irzhak@syktsu.ru; irzhak31@mail.ru